

---

*Gens, Wolfgang :*

***Geschwindigkeitssteuerung für Triebwagenzüge mit  
elektrischem Antrieb***

---

*Zuerst erschienen in:*

Deutsche Eisenbahntechnik : techn.-wiss. Zeitschr. für Bau, Betrieb  
u. Unterhaltung schienengebundener Verkehrseinrichtungen /  
Kammer der Technik, Fachverband Fahrzeugbau und Verkehr. -  
Berlin : Verlag Technik, ISSN 0012-0057, 19. Jg. (1971), H. 9, S. 433  
- 437

## Geschwindigkeitssteuerung für Triebwagenzüge mit elektrischem Antrieb

DK 621.335.4:621.337.4(430.2)

### 1. Anforderungen an die Geschwindigkeitssteuerung einer Triebwageneinheit oder eines Triebwagenzuges mit elektrischem Antrieb

#### 1.1. Fahrdynamische Forderungen

Die von den neuzeitlichen Eisenbahnverkehrsmitteln, die vorwiegend im Vorort- oder zwischenstädtischen Personenverkehr eingesetzt werden sollen, geforderte Reisegeschwindigkeit liegt bei 70 bis 80 km/h. In Verbindung mit den kurzen Haltestellenabständen bedingt diese hohe Reisegeschwindigkeit eine relativ hohe Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung. Die zu realisierenden Maximalwerte liegen bei  $\pm 1 \text{ m/s}^2$ . Zusätzlich wird gefordert, daß die 2. Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit (der Ruck) den Wert von  $\pm 0,5 \text{ m/s}^3$  nicht überschreitet.

Für den Fahrgast darf nicht spürbar sein, ob die mechanische oder elektrische Bremse die Verzögerung bewirkt. Insbesondere dürfen der beabsichtigte Übergang von elektrischer auf mechanische Bremsung bei kleinen Geschwindigkeiten oder der Übergang im Störfall bei beliebiger Geschwindigkeit keine nachteiligen Auswirkungen auf den Fahrkomfort haben. Aus energiewirtschaftlichen Gründen müssen die energiesparende Fahrweise mit freiem Auslauf und der Betrieb der aufgenommenen elektrischen Leistung möglich sein [1/].

#### 1.2. Betriebstechnische Forderungen an die Triebwageneinheit

Bei beabsichtigten Änderungen der Fahrgeschwindigkeit muß das Umschalten des Fahrzeugantriebs vom Betriebszustand „Fahren“ zum Betriebszustand „Bremsen“ und umgekehrt in Abhängigkeit geeigneter Kriterien selbsttätig erfolgen. Ferner muß der Übergang von der elektrischen zur mechanischen Bremsung selbsttätig geschehen. Das gilt für den Fall, daß die elektrische Bremse bei kleinen Geschwindigkeiten erschöpft ist und daß die elektrische Bremse vor oder während des Bremsvorganges ausfällt. Damit das Fahrzeug auf Steigungen sicher im Stillstand gehalten werden kann, ist eine pneumatisch wirkende Haltebremse vorzusehen.

Zum Schutz der Fahrmotoren vor Überlastungen im Hinblick auf die Kommutierung muß für eine sicher wirkende Ankerstrombegrenzung Sorge getragen werden.

Durch geeignete Maßnahmen muß dem Schleudern oder Gleiten einzelner Treibachsen während des Anfahr- und Bremsvorganges entgegengewirkt werden. Von der gesamten Steuerung wird eine hohe Betriebszuverlässigkeit gefordert.

#### 1.3. Betriebstechnische Forderungen an den aus mehreren Triebwageneinheiten zusammengestellten Triebzug

Neben den im Abschnitt 1.2 genannten Forderungen müssen bei Betrieb der Einzelfahrzeuge im Verband eine Reihe weiterer Forderungen erfüllt werden. Besonders gilt es, eine hinreichend gleichmäßige Aufteilung der Gesamtzug- und Bremskraft auf die im Verband fahrenden Einzelfahrzeuge im stationären und auch im dynamischen Betrieb zu erreichen. Das Erfüllen dieser Forderung ist notwendig, damit eine ungleichmäßige thermische Beanspruchung der Fahrantriebe sicher vermieden wird. Außerdem ist anzustreben, daß die Selbständigkeit der im Verband betriebenen Einzelfahrzeuge möglichst weitgehend erhalten bleibt.

Das konsequente Realisieren dieser Forderung hat ein Minimum an vielfach zu übertragenden Signalen zwischen Leitfahrzeug und den geführten Fahrzeugen und damit ein Verringern der Störanfälligkeit des Systems zur Folge.

#### 1.4. Bedienungstechnische Forderungen

Die hohe Reisegeschwindigkeit in Verbindung mit den relativ kurzen Haltestellenabständen verlangt vom Fahrzeugführer eine erhebliche Konzentration beim Beobachten der Fahrstrecke. Durch entsprechendes Gestalten der Geschwindigkeitssteuerung muß gesichert werden, daß der Fahrzeugführer beim Bedienen des Fahrzeuges oder des gesamten Zuges weitgehend entlastet wird. Dieses Ziel wird erreicht, indem der Fahrzeugführer im normalen Betrieb lediglich den Fahrshalter und gelegentlich das Einstellorgan für die Grenzbeschleunigung oder -verzögerung betätigen muß.

Mit dem Fahrshalter kann stetig oder zumindest feinstufig die gewünschte Endgeschwindigkeit eingestellt werden, die der Triebzug dann vollkommen selbsttätig unter Einhaltung der im Abschn. 1.1. aufgeführten Grenzbedingungen annimmt. Auf dem Fahrshalter muß ein Rangierbereich eingestellt werden können, in dem die obere Grenzgeschwindigkeit begrenzt ist und der selbsttätige Übergang zum Betriebszustand „Bremsen“ unterbunden wird. Auf dem Fahrshalter ist weiterhin eine Stellung „Haltebremsung“ vorzusehen, auf der auch bei Stillstand des Zuges eine Bremskraft aufrechterhalten bleibt. Zum Fahren in Vor- und Rückwärtsrichtung wird die Bedienbarkeit des Zuges von den beiden Führerständen am Anfang und Ende des Zuges gefordert. Bei einer möglichst großen Zahl von eventuell auftretenden Störfällen muß ein Notbe-

trieb möglich sein. Damit soll erreicht werden, daß ein schadhafte Fahrzeug mit eigener Kraft die Strecke räumen kann.

## 2. Grundprinzipien der Struktur der Geschwindigkeitssteuerungen

### 2.1. Schlußfolgerungen aus den unter 1. zusammengestellten Forderungen

Die geforderte hohe Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung kann nur mit einem Antriebssystem realisiert werden, in dem das Stellglied ein schnelles Verändern derjenigen Größe gestattet, die die Drehzahl des Fahrtriebs steuert (z. B. Ankerspannung, Erregerstrom). Die Forderung nach stetiger oder zumindest feinstufiger Einstellbarkeit der Fahrzeuggeschwindigkeit unter Einhalten der Grenzwerte von Beschleunigung und Ruck verlangt weiterhin eine stetige Verstellbarkeit dieser Größe. Aus energiewirtschaftlichen Erwägungen heraus ist es notwendig, eine Methode zur verlustarmen Drehzahlstellung anzuwenden. Nach eingehenden Untersuchungen muß entschieden werden, ob die von einer Nutzbremsung zu erwartenden Vorteile den Aufwand rechtfertigen.

Die Forderung nach selbständigem Betrieb der einzelnen Triebwageneinheiten verlangt, jede mit einer kompletten Geschwindigkeitssteuerung und einem kompletten Antriebssystem (mindestens einem Stellglied und einer Fahrmotorgruppe) auszurüsten. Dadurch wird für jede Triebwageneinheit getrennt eine Einflußnahme auf die Größe möglich, über die dem Schleudern oder Gleiten entgegengewirkt werden kann.

Die möglichst gleiche Belastungsaufteilung auf die im Verband betriebenen Einzelfahrzeuge und die zuverlässige Begrenzung des Ankerstromes kann dadurch realisiert werden, daß auf dem Leitfahrzeug eine Steuergröße gebildet wird, die auf den geführten Fahrzeugen statisch und dynamisch den gleichen Fahrmotorstrom erzwingt. Mittels dieser Steuergröße kann auch der freie Auslauf verwirklicht werden, indem man ihr in diesem Falle den Wert Null zuordnet. Über diese Größe wird auch das Ansteuern der mechanischen Bremse für die beiden im Abschn. 1.2. genannten Betriebsfälle möglich.

Um eine hohe Zuverlässigkeit der Geschwindigkeitssteuerung zu erreichen, muß eine dem Bahnbetrieb angepaßte Konstruktion und eine sehr sorgfältige Fertigung angestrebt werden. Bei Betrieb der Triebwagen-

einheiten im Verband kann die Zuverlässigkeit dadurch relativ erhöht werden, daß auf den geführten Fahrzeugen nur ein möglichst geringer Teil der für den Einzelbetrieb benötigten Steuerung in Funktion ist.

### 2.2. Vergleich möglicher Varianten zur Geschwindigkeitssteuerung

Auf Grund der im Abschn. 2.1. getroffenen Schlußfolgerungen erscheint die Ausführung einer Geschwindigkeitssteuerung mit einem Geschwindigkeitsregelkreis als Kernstück zweckmäßig. Grundsätzlich kann der Geschwindigkeitsregelkreis einschleifig oder vermascht ausgeführt werden. Einschleifige Regelkreise im Antriebssystem haben den Nachteil, nur in komplizierter Weise eine zufriedenstellende Ankerstrombegrenzung zu ermöglichen. Da man im vorliegenden Fall jede Triebwageneinheit als Geschwindigkeitsregelkreis ausführen müßte, wäre bei Betrieb im Verband ohne zusätzliche Maßnahmen keine zufriedenstellende Belastungsaufteilung möglich.

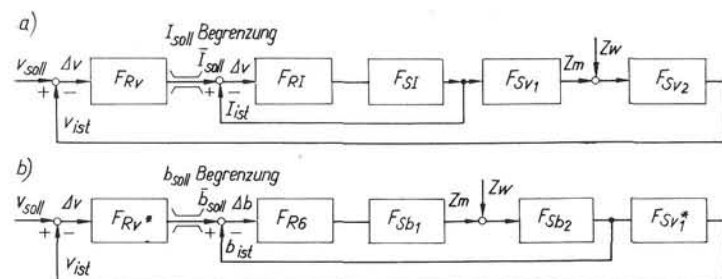
Wesentlich besser lassen sich die verschiedenen Forderungen mit einem Geschwindigkeitsregelkreis erfüllen, dem ein Hilfsregelkreis mit der Beschleunigung oder dem Ankerstrom als Hilfsregelgröße unterlagert ist. Im Bild 1 sind die diesen beiden Varianten entsprechenden prinzipiellen Signallaufbilder für eine Triebwageneinheit dargestellt. Beide Regelungsstrukturen ermöglichen in gleicher Weise, die zu einem Triebzug gekuppelten Triebwageneinheiten zu einem Geschwindigkeitsregelkreis zu integrieren. Zu diesem Zweck muß eine Verzweigung der Signale  $I_{soll}$  oder  $b_{soll}$  vom Leitfahrzeug auf die geführten Fahrzeuge über eine Vielfachleitung vorgenommen werden. Infolge der mechanischen Kupplung der Triebwageneinheiten erfolgt die Summation der Teilzugkräfte und damit ein Zusammenführen der zuvor verzweigten Signale zu einem gemeinsamen Signal — dem Geschwindigkeitswert.

Bei beiden Varianten ist das Erfassen von zwei unterschiedlichen Ist-Werten notwendig, wobei das Erfassen des Geschwindigkeitswertes in beiden Fällen in gleicher Weise erfolgen kann. Bei der Variante mit unterlagelter Ankerstromregelung ist der Ankerstrom in eine analoge Spannung umzuformen, die als Ankerstromwert weiter verarbeitet werden kann. Bei parallelen Fahrmotoren werden alle Fahrmotorströme über je einen Gleichstromwandler geführt. Als Anker-

**Bild 1a**  
v-Regelkreis mit unterlagelter Ankerstromregelung für eine Triebwageneinheit

**Bild 1b**  
v-Regelkreis mit unterlagelter Beschleunigungsregelung für eine Triebwageneinheit

$F_{RV}$  (bei unterlagelter Ankerstromregelung) und  $F_{RV}^*$  (bei unterlagelter Beschleunigungsregelung) Geschwindigkeitsregler,  $F_{RJ}$  Stromregler,  $F_{Rb}$  Beschleunigungsregler,  $F_{SJ}$  Stromregelstrecke,  $F_{Sb}$  Beschleunigungsregelstrecke,  $F_{SV}$  (bei unterlagelter Ankerstromregelung) und  $F_{SV}^*$  (bei unterlagelter Beschleunigungsregelung) Geschwindigkeitsregelstrecke



stromistwert wird mit Hilfe einer Maximalwert-Auswahlschaltung nur der jeweils größte Wert weitergeleitet. Bei der Variante mit unterlagerter Beschleunigungsregelung muß die Beschleunigung in eine analoge Spannung umgeformt werden, die als Beschleunigungswert weiterverarbeitet werden kann. Da Geschwindigkeit und Beschleunigung des Triebzuges infolge starrer Kupplung der Triebwageneinheiten im wesentlichen unabhängig von der Meßstelle sind, braucht grundsätzlich bei beiden Varianten nur eine Geschwindigkeitsmeßeinrichtung und bei der Variante mit unterlagerter Beschleunigungsregelung nur eine Beschleunigungsmeßeinrichtung pro Triebzug in Betrieb zu sein. Man könnte folglich den Soll-Istwert-Vergleich für die Geschwindigkeit auf dem Leitfahrzeug ausführen und bei der Variante mit unterlagerter Stromregelung den aus der Geschwindigkeitsregelabweichung abgeleiteten Ankerstromsollwert vielfach auf die geführten Fahrzeuge übertragen.

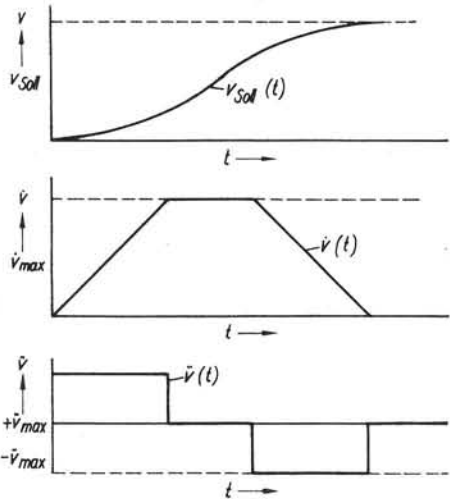
Bei der Variante mit unterlagerter Beschleunigungsregelung könnte auch der Soll-Istwert-Vergleich für die Beschleunigung auf dem Leitfahrzeug gebildet werden; die Beschleunigungsregelabweichung muß dann in einem Regler verarbeitet und die Reglerausgangsgröße vielfach auf die geführten Fahrzeuge übertragen werden.

Bei der Entscheidung für die eine der beiden Varianten muß beachtet werden, daß bei beiden Varianten zum Auslösen des Überstromschutzes und zum Erfassen des Schleuderns und Gleitens das Erfassen aller Fahrmotorströme erforderlich ist. Kein wesentlicher Mehraufwand ist notwendig, wenn die ohnehin vorhandene Einrichtung zum Erfassen der Ankerströme für das Bilden des Ankerstromwertes erweitert wird. Diese Feststellung spricht für die Variante mit unterlagerter Ankerstromregelung. Ein weiterer Vorteil dieser Variante besteht darin, daß durch Begrenzen des Ankerstromsollwertes und durch entsprechendes Einstellen des Ankerstromregelkreises eine wirksame und zuverlässige Ankerstrombegrenzung auf einfache Weise realisiert werden kann. Nachteilig ist, daß nicht unmittelbar eine Beschleunigungsbegrenzung möglich ist.

Bei der Variante mit unterlagerter Beschleunigungsregelung ist durch Begrenzen des Beschleunigungswertes eine einfache Beschleunigungsbegrenzung möglich. Zusätzlich muß jedoch noch eine wirksame Ankerstrombegrenzung aufgebaut werden. Das Abwä-

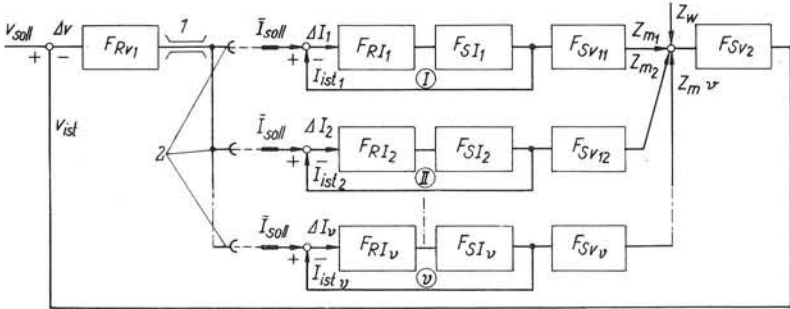
gen der Vor- und Nachteile beider Varianten und die Möglichkeit, die bekannten Schwierigkeiten einer exakten Beschleunigungserfassung zu umgehen, gab zu der Entscheidung Anlaß, die Variante „Geschwindigkeitsregelung mit unterlagerter Ankerstromregelung“ zu entwickeln. Allerdings ist diese Variante nicht für das Geschwindigkeitsregeln eines mit einer Lokomotive bespannten Zuges geeignet. Das prinzipielle Signalflußbild eines Geschwindigkeitsregelkreises für einen Triebzug, bestehend aus  $v$  Triebwageneinheiten, ist im Bild 2 dargestellt.

Der bereits erwähnte Nachteil dieser Variante, daß durch einen Eingriff in die Ankerstrombegrenzung kein eindeutiges Steuern der Beschleunigung möglich ist, läßt sich fast vollständig beheben, wenn zwischen Fahrshalter und Eingang für den Geschwindigkeits-sollwert an der Soll-Istwert-Vergleichsstelle ein spezieller analoger Fahrkurvenrechner geschaltet wird [2]. Dieser bildet aus dem mit dem Fahrshalter vorgegebenen Geschwindigkeitsaufgabewert  $v_{soll\ 0}$ , dem Beschleunigungs- oder Verzögerungsgrenzwert  $\dot{v}_{max}$  und dem zulässigen Ruck  $\ddot{v}_{max}$  einen zeitoptimalen Ge-

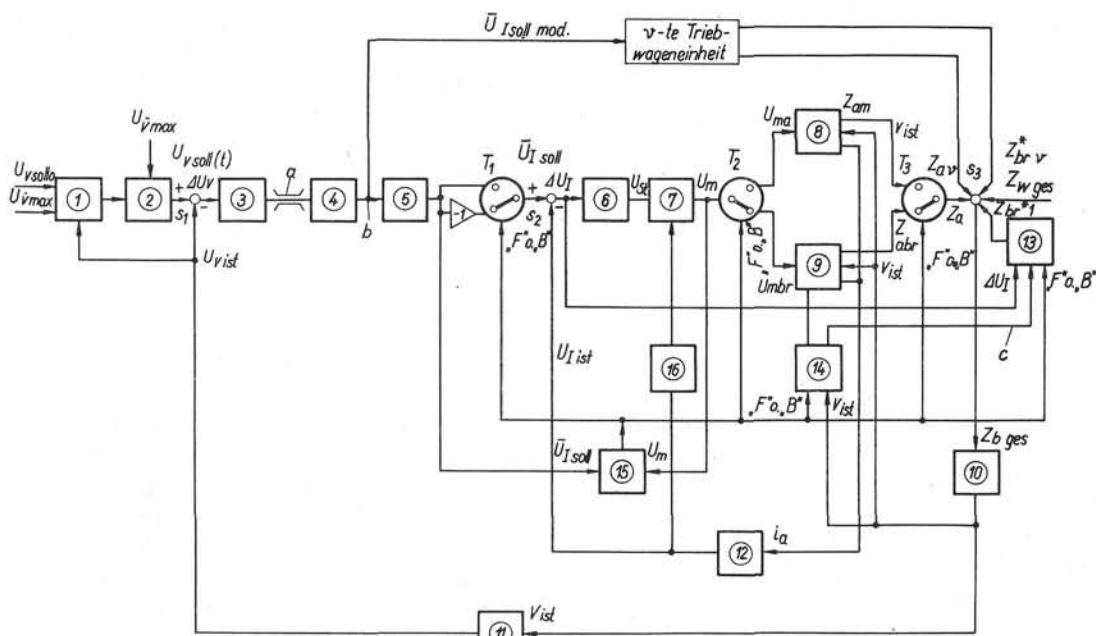


**Bild 3.** Realisierung des zeitoptimalen Geschwindigkeitssollwertes  
 $v_{soll\ 0}$  Geschwindigkeitsaufgabewert (vom Fahrzeugführer vorzugeben)  
 $\dot{v}_{max}$  Maximalwert der Beschleunigung (vom Fahrzeugführer vorzugeben)  
 $\ddot{v}_{max}$  Maximalwert des Ruckes (fest eingestellt)  
 $v_{soll}(t)$  Geschwindigkeitssollwert

**Bild 2**  
v-Regelung mit unterlagerter Ankerstromregelung für einen Triebzug, bestehend aus  
v Triebwageneinheiten  
1 Ankerstrom-Begrenzung  
2 Vielfachübertragungsleitung  
 $F_{Rv1}$  Geschwindigkeitsregler auf dem Leitfahrzeug (Index 1 bedeutet Leitfahrzeug)  
 $F_{Rjv}$  Stromregler  
 $F_{Rsv}$  Stromreglerstrecke  
 $F_{Sv1v}$  Teil der Geschwindigkeitsregelstrecke (Zugkraftbildung)  
 $F_{Sv2}$  Teil der Geschwindigkeitsregelstrecke des Triebzuges (Geschwindigkeitsbildung)







**Bild 4.** Vereinfachte Struktur der Geschwindigkeitssteuerung für einen Triebzug mit elektrischem Fahrentrieb. 1 Fahrschaltung, Steuerung für freien Auslauf, 2 analoger Fahrkurvenrechner, 3 Geschwindigkeitsregler, 4 Modulator, 5 Demodulator, 6 Ankerstromregler, 7 Steuersatz und Stellglied, 8 Antrieb im Betriebszustand „Fahren“, 9 Antrieb im Betriebszustand „Bremsen“

sen“, 10 Bildung von  $v_{ist}$ , 11 Bildung von  $U_{v_{ist}}$ , 12 Bildung von  $U_{I_{ist}}$ , 13 Mechanische Bremsenrichtung, 14 Logik zur Umschaltung des Bremswiderstands, 15 Logik zur Umschaltung von „F“ → „B“ und „B“ → „F“, 16 Einrichtung zur Bildung des Schleuder- und Gleitsignals, a Begrenzung für den Ankerstromsollwert, b Vielfachleitung, c letzte Bremsstufe

geschwindigkeitssollwert  $v_{soll}(t)$  (Bild 3). Wenn die Fahrantriebe entsprechend ausgelegt sind, wird die Triebwageneinheit oder der Triebzug nach der zeitoptimalen Funktion  $v_{soll}(t)$  sowohl bei Anfahrt und Bremsen als auch bei Geschwindigkeitsänderungen geführt.

### 3. Beschreibung der vereinfachten Struktur einer Geschwindigkeitssteuerung einschließlich Geschwindigkeitsregelkreis mit unterlagerter Ankerstromregelung

Im Bild 4 ist die vereinfachte Struktur der Geschwindigkeitssteuerung dargestellt. Im Block 1 ist der Fahr-schalter enthalten, mit dem der Fahrzeugführer den Geschwindigkeitsaufgabewert  $U_{v_{soll0}}$  vorgibt, und ein Betätigungsorgan zur Vorgabe der Grenzbeschleunigung  $U_{v_{max}}$ . Mit diesen beiden Werten und dem fest eingestellten Wert  $U_{v_{max}}$  bildet der analoge Fahrkurvenrechner (Block 2) den zeitoptimalen Geschwindigkeitssollwert  $U_{v_{soll}}(t)$ . In  $S_1$  erfolgt der Soll-Istwert-Vergleich für die Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsregelabweichung  $\Delta U_v$  wird im Geschwindigkeitsregler (Block 3) entsprechend den Forderungen an das statische und dynamische Verhalten des Fahrzeugs umgeformt und bildet dann den Ankerstromsollwert  $U_{I_{soll}}$ . Danach wird  $U_{I_{soll}}$  auf den zulässigen Wert des Anfahrstroms begrenzt. Die Ausgangsgröße  $\bar{U}_{I_{soll}}$  wird den entsprechend der Zahl der Triebwageneinheiten eines Triebzuges parallelen Ankerstromregelkreisen über eine Vielfachleitung zugeführt. Um hierbei eine Störbeeinflussung weitgehend auszuschalten, wird das analoge Signal  $\bar{U}_{I_{soll}}$  in geeigneter Weise auf dem Leitfahrzeug moduliert (Block 4) und auf den geführten Fahrzeugen demoduliert (Block 5). Das demodulierte Signal wird über  $T_1$  auf die Soll-Istwert-Vergleichsstelle für den Ankerstrom geschaltet.  $T_1$  sorgt

dafür, daß im Betriebszustand „Bremsen“ der invertierte Wert von  $\bar{U}_{I_{soll}}$  auf die Soll-Istwert-Vergleichsstelle  $S_2$  geschaltet wird. Das ist erforderlich, weil hier im Gegensatz zum Betriebszustand „Fahren“ eine positive Geschwindigkeitsregelabweichung ein Absteuern des Stellgliedes bewirken muß. Die Ankerstromregelabweichung  $\Delta U_I$  wird im Ankerstromregler (Block 6) entsprechend den statischen und dynamischen Anforderungen an den Ankerstromregelkreis umgeformt. Das Ausgangssignal dient zum Ansteuern des Steuersatzes, der seinerseits das Stellglied, eine Kombination aus Schaltwerk und Thyristorstromrichter (Block 7) ansteuert. Die Ausgangsspannung  $U_m$  des Stellgliedes wird über  $T_2$ , je nachdem, ob der Betriebszustand „Fahren“ oder „Bremsen“ vorliegt, dem Antrieb in Fahrschaltung (Block 8) oder in Bremsschaltung (Block 9) zugeleitet. Der jeweils größte Ankerstromistwert wird in Block 12 ausgewählt und der Soll-Istwert-Vergleichsstelle  $S_2$  zugeführt. Die Zug- oder Bremskräfte und die Widerstandskräfte entsprechend dem Fahr- und Steigungswiderstand werden in  $S_3$  vorzeichenrichtig addiert und bilden die resultierende Beschleunigungskraft  $Z_b_{ges}$ . Diese hat in Abhängigkeit von der Masse der Triebwageneinheit oder des Triebzuges eine Geschwindigkeit  $v_{ist}$  und damit eine entsprechende analoge Spannung – den Geschwindigkeitsistwert  $U_{v_{ist}}$  – zur Folge. Eine Logik (Block 15) sorgt für das selbsttätige Umschalten der Struktur von Betriebszustand „Fahren“ in den Betriebszustand „Bremsen“ und umgekehrt. Zum Entscheiden werden die Bedingungen  $|U_{I_{soll}}| \geq \Delta U_I$  und  $U_m \approx 0$  verwendet.

Eine weitere Logik (Block 14) hat zum Aufrechterhalten einer konstanten Bremskraft in einem weiten Geschwindigkeitsbereich die Aufgabe, im Betriebszustand „Bremsen“ geschwindigkeitsabhängig ein Umschalten

der Bremswiderstände vorzunehmen. Die mechanische Bremse (Block 13) wird bei Ausfall und auch bei Erschöpfung der elektrischen Bremse im unteren Geschwindigkeitsbereich von der Regelabweichung  $\Delta U_I$  gesteuert. Die mechanische Bremse wird von einer Logik freigegeben, wenn entweder bei Ausfall der elektrischen Bremse über eine vorgegebene Zeit  $\Delta U_I \geq \Delta U_{I0}$  geworden ist oder wenn im unteren Geschwindigkeitsbereich die letzte Bremsstufe erreicht und  $\Delta U_I > \Delta U_{I0}$  geworden ist, wobei  $\Delta U_{I0} > \Delta U_{I01}$  ist.

Der Sollwert für die Haltebremskraft wird in Form eines Signals aufgegeben, das zum Ankerstromsollwert  $U_{I\text{ soll}}$  addiert und nur dann wirksam wird, wenn der Fahrschalter auf die Stellung „Haltebremse“ gestellt worden ist.

Im Abschnitt 2.2. wurde bereits erwähnt, daß der Vorgang des Schleuderns oder Gleitens von einzelnen Treibachsen mittelbar durch Auswertung der dabei entstehenden Ankerstromdifferenzen erfaßt wird. Diese Methode kann angewendet werden, da vom Signalfluß her gesehen im Betriebszustand „Fahren“ und auch im Betriebszustand „Bremsen“ die Ankerkreise der acht Fahrmotoren parallel zueinander liegen. Das gewonnene Schleuder- oder Gleitsignal (Block 16) bewirkt ein zeitweiliges Unterbrechen des Aufsteuerns des Stellgliedes oder ein zeitweiliges Absteuern des Stellgliedes. Dabei wird jeweils nur das Stellglied derjenigen Triebwageneinheit beeinflusst, zu der die schleudernde oder gleitende Achse gehört.

Der freie Auslauf ist so realisiert, daß eine im Block 1 befindliche Logik bei Erfüllung der Forderung  $(U_{v\text{ soll }0} - \Delta U_{v0}) < U_{v\text{ ist}} < (U_{v\text{ soll }0} + \Delta U_{v0})$  dem analogen Fahrkurvenrechner den Geschwindigkeitswert als Eingangsgröße aufschaltet. Auf diese Weise wird  $\Delta U_v$  zu Null, und alle Stellglieder werden über den gemeinsamen Ankerstromsollwert in die Nullstellung gesteuert.

#### 4. Zusammenfassung

Bei Betrieb im Verband wird durch den gemeinsamen Ankerstromsollwert eine gute Belastungsaufteilung sowohl im stationären als auch im dynamischen Betrieb erreicht. Wie aus Bild 4 unmittelbar zu erkennen ist, bleiben dabei die einzelnen Triebwageneinheiten relativ selbständig. Für jede Triebwageneinheit erfolgt getrennt das Umschalten von „Fahren“ auf „Bremsen“, das Umschalten der Bremswiderstände und das Ansteuern der mechanischen Bremse. Das konsequente Realisieren dieser Forderung hat dazu geführt, daß lediglich nur noch ein analoges Signal vom Leitfahrzeug auf die geführten Fahrzeuge zu übertragen ist.

#### Literatur

- [1/ Gens, W.: Die Geschwindigkeitssteuerung von Triebwagenzügen mit elektrischem Antrieb. LEW-Nachr. /Hennigsdorf/ (1970) 4, S. 14–19.
- [2/ Roth, M.: Entwurf einer zeitoptimalen Führungsgrößen-Recheneinheit. XV. Int. Wiss. Koll. der TH Ilmenau. Vortragsreihe Techn. und Biomed. Kybernetik, Teil 2.